

PCT

WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM  
Internationales Büro



INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE  
INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)

(51) Internationale Patentklassifikation<sup>6</sup>:

G01B 11/24, A61C 19/04

A1

(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 98/10243

(43) Internationales

Veröffentlichungsdatum:

12. März 1998 (12.03.98)

(21) Internationales Aktenzeichen:

PCT/DE97/01796

(22) Internationales Anmeldedatum: 19. August 1997 (19.08.97)

(30) Prioritätsdaten:

196 36 354.3

2. September 1996 (02.09.96) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): BENDING  
ART MEDIZINTECHNIK GMBH [DE/DE]; Rungestrasse  
9, D-10179 Berlin (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): RUBBERT, Rüdger  
[DE/DE]; Leonhardyweg 41, D-12101 Berlin (DE).

(74) Anwälte: WEBER, D. usw.; Gustav-Freytag-Strasse 25, Post-  
fach 61 45, D-65051 Wiesbaden (DE).

(81) Bestimmungsstaaten: AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG,  
BR, BY, CA, CN, CU, CZ, DK, EE, ES, FI, GB, GE, GH,  
HU, IL, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS,  
LT, LU, LV, MD, MG, MK, MN, MW, MX, NO, NZ, PL,  
PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT,  
UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZW, ARIPO Patent (GH, KE,  
LS, MW, SD, SZ, UG, ZW), eurasisches Patent (AM, AZ,  
BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT,  
BE, CH, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC,  
NL, PT, SE), OAPI Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA,  
GN, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht

Mit internationalem Recherchenbericht.

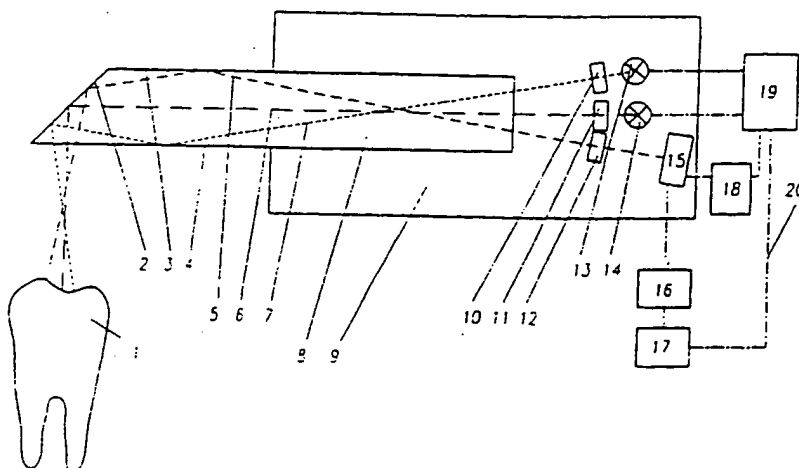
Vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche zugelassenen  
Frist. Veröffentlichung wird wiederholt falls Änderungen  
eintreffen.

(54) Title: OPTICAL IMAGING METHOD AND DEVICE

(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR DURCHFÜHRUNG VON OPTISCHEN AUFNAHMEN

(57) Abstract

Disclosed is an optical imaging method and device enabling display and 3D measurement of tridimensional objects (1), whereby at least two individual images are captured one after the other and the effective amount of radiation energy for the image conversion is controlled or regulated differently for these individual images. By employing adjustable optical means (10-14) for the illumination of the object or in the optical path for the imaging of the object on the image converter (15) it is possible to acquire a larger amount of visual information on the object observed than that which is available in an individual image due to the limitations imposed by the design of the converter used (15). The invention relates to processes and design forms of the device enabling recording units to be designed, using simply and generally commercial components, which are able to display and measure larger objects (1) despite a reduced field of vision imposed by the design. This is especially useful for diagnosis in invasive applications in the bodies of humans or animals.



FOR INFORMATION ONLY

Codes used to identify the countries which are a party to the PCT on the cover pages of pamphlets publishing the international applications in pursuance of the PCT.

AL	Albania	ES	Spain	MC	Monaco
AM	Armenia	FI	Finland	MD	Republic of Moldova
AT	Austria	FR	France	MG	Madagascar
AU	Australia	GA	Gabon	MK	Former Yugoslav Republic of Macedonia
AZ	Azerbaijan	GB	United Kingdom	ML	Mali
BA	Bosnia-Herzegovina	GE	Georgia	MN	Mongolia
BB	Barbados	GH	Ghana	MR	Mauritania
BE	Belgium	GN	Guinea	MW	Malawi
BF	Burkina Faso	GR	Greece	MX	Mexico
BG	Bulgaria	HU	Hungary	NE	Niger
BJ	Benin	IE	Ireland	NL	Netherlands
BR	Brazil	IL	Israel	NO	Norway
BY	Belarus	IS	Iceland	NZ	New Zealand
CA	Canada	IT	Italy	PL	Poland
CF	Central African Republic	JP	Japan	PT	Portugal
CG	Congo	KE	Kenya	RO	Romania
CH	Switzerland	KG	Kirghistan	RU	Russian Federation
CI	Ivory Coast	KP	People's Democratic Republic of Korea	SD	Sudan
CM	Cameroon	KR	Republic of Korea	SE	Sweden
CN	China	KZ	Kazakhstan	SG	Singapore
CU	Cuba	LC	St. Lucia	SI	Slovenia
CZ	Czech Republic	LJ	Liechtenstein	SK	Slovakia
DE	Germany	LK	Sri Lanka	SN	Senegal
DK	Denmark	LR	Liberia	SZ	Swaziland
EE	Estonia	LS	Lesotho	TD	Chad
		LT	Lithuania	TG	Togo
		LU	Luxembourg	TJ	Tadzhikistan
		LV	Latvia	TM	Turkmenistan
				TR	Turkey
				TT	Trinidad and Tobago
				UA	Ukraine
				UG	Uganda
				US	United States of America
				UZ	Uzbekistan
				VN	Viet Nam
				YU	Yugoslavia
				ZW	Zimbabwe

# Verfahren und Vorrichtung zur Durchführung von optischen Aufnahmen

5 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Durchführung von optischen Aufnahmen, bei dem mindestens zwei Einzelaufnahmen nacheinander erfolgen und für die Einzelaufnahmen die für die Bildwandlung wirksame Menge der Strahlenergie unterschiedlich gestellt wird. Ferner betrifft die Erfindung eine Vorrichtung für ein solches Verfahren.

10 Zum Zweck der Darstellung, Dokumentation oder Vermessung bietet der Einsatz von Verfahren, die auf optischer Grundlage arbeiten, eine Vielzahl von Vorteilen. Eine Vermessung kann schnell und berührungslos erfolgen. Zum Stand der Technik gehören elektronische Bildwandler, beispielsweise CCD-Arrays, deren

- 2 -

Ausgangssignale unmittelbar nach einer Digitalisierung gespeichert oder ausgewertet werden können.

5 Bekannt sind Verfahren und Vorrichtungen zur Darstellung und zur optischen dreidimensionalen Vermessung von räumlichen Oberflächen. Sie basieren auf Triangulationsverfahren, bei denen unter einem bestimmten Winkel Punkt-, Linien- oder beliebige andere Muster auf die betrachtete Oberfläche projiziert werden und die  
10 projizierten Muster unter einem anderen Blickwinkel mit einer Optik und einem Bildwandler aufgenommen werden. Die bekannte Geometrie zwischen Projektionsrichtung und Aufnahmerichtung erlaubt die dreidimensionale Berechnung von Stützpunkten der Oberfläche.

15 Im Bereich der Zahnmedizin ist unter dem Markennamen CEREC beispielsweise ein System zur Herstellung von Keramikinlays bekannt, bei dem zum Vermessen einer Kavität eines Zahns eine optische 3D-Meßvorrichtung verwendet wird.

20 Für kieferorthopädische Anwendungen wird in der deutschen Patentanmeldung P 42 18 219 eine Intraoral-Stereo-Kamera beschrieben. Diese wird als Teil eines Medizingeräts, das unter dem Markennamen bending art system vertrieben wird, verwendet. Die räumlichen Informationen, die mit Hilfe dieser Kamera aus stereoskopischen Teilaufnahmen des Zahnbogens gewonnen werden, werden nachträglich miteinander kombiniert und zu einer räumlichen Gesamtinformation des Zahnbogens zusammengefügt.

25 Bei der Anwendung von optischen Verfahren zu Vermessungs- und Dokumentationszwecken treten jedoch immer dann Probleme auf, wenn die zu erfassende Oberfläche ungünstige Reflexionseigenschaften aufweist. Bei Aufnahmen von Zähnen stellt sich beispielsweise gegebenenfalls die Aufgabe, sowohl dunkle und matte Amalgamfüllungen als auch stark reflektierende Goldfüllungen gleichermaßen  
30 mit ausreichendem Informationsgehalt zu erfassen. Zudem ist der Dynamikbereich von preiswerten CCD-Arrays eingeschränkt.

- 3 -

5 Aufgabe der Erfindung ist es daher, das Verfahren und die Vorrichtung zur Durchführung von optischen Aufnahmen der eingangs beschriebenen Art zu schaffen, die die Erfassung eines größeren Umfangs von Bildinformationen über das betrachtete Objekt ermöglicht, als aufgrund der bauartbedingten Grenzen des mindestens einen verwendeten Bildwandlers in einem Einzelbild zur Verfügung stehen.

Die Aufgabe wird erfindungsgemäß bei dem Verfahren dadurch gelöst, daß

- 10 a) ein Aufnahmevergong unter Verwendung mindestens eines flächigen elektronischen Bildwandlers durchgeführt wird, in dessen Verlauf mindestens zwei Einzelbilder gewonnen werden und
- 15 b) für die Einzelaufnahmen die für die Bildwandlung wirksame Menge der Strahlenergie unterschiedlich gestellt wird.

Unter "Menge der Strahlenergie" ist im Sinne dieser Erfindung das Integral des Produkts aus Wirkungsdauer und Intensität einer Strahlung zu verstehen.

- 20 Unter einer Beeinflussung der "für die Bildwandlung wirksamen Menge der Strahlenergie" ist im Sinne dieser Erfindung ausschließlich eine gezielte Beeinflussung der für die Bildwandlung wirksamen Menge der Strahlenergie seitens der Einrichtungen der Aufnahmevorrichtung selbst zu verstehen. Daß zusätzlich das zu erfassende Objekt selbst diese für die Bildwandlung wirksame Menge der
- 25 Strahlenergie wesentlich - auch im Verlauf des Aufnahmevergongs unterschiedlich - beeinflußt, ist selbstverständlich.

Die für die Einzelaufnahmen wirksame Menge der Strahlenergie kann erfindungsgemäß vorteilhaft in unterschiedlicher Art und Weise verändert werden, indem

30

- a) mindestens eine Strahlquelle in ihrer Intensität und/oder Wirkungsdauer für die Aufnahme der Einzelbilder unterschiedlich gestellt wird;

b) in mindestens einem Strahlengang zwischen einer Strahlquelle und dem zu erfassenden Objekt optische Mittel derart gestellt werden, daß die Intensität und/oder die Wirkungsdauer der Strahlenergie zur Beleuchtung bzw. Durchleuchtung des Objekts für die Aufnahme der Einzelbilder verändert wird;

c) in mindestens einem Strahlengang zwischen dem Objekt und einem Bildwandler optische Mittel derart gestellt werden, daß die Intensität und/oder die Wirkungsdauer der vom Objekt reflektierten bzw. nicht absorbierten Strahlenergie für die Aufnahme der Einzelbilder verändert wird;

d) sogenannte Shutter-Einrichtungen des Bildwandlers derart angesteuert werden, daß die wirksame Zeitdauer der optoelektronischen Wandlung der für die Bildwandlung in den Bildwandler eingebrachten Strahlenergie für die Einzelaufnahmen unterschiedlich gestellt wird.

Eine Strahlquelle im Sinne dieser Erfindung ist jeder direkte Erzeuger von Strahlenergie. Darunter fallen unter anderem Einrichtungen zur Erzeugung von Röntgenstrahlen, sichtbarem, infrarotem und ultraviolettem Licht.

Optische Mittel im Strahlengang zwischen Strahlquelle und Objekt bzw. zwischen Objekt und Bildwandler, die es erlauben, die Intensität und/oder die Wirkungsdauer der Strahlenergie zur Beleuchtung/Durchleuchtung des Objektes bzw. zur Bestrahlung des Bildwandlers für die Aufnahme der Einzelbilder unterschiedlich zu stellen, sind im Sinne dieser Erfindung optische Mittel, die die Intensität der Strahlenergie - bis auf Randeffekte - für die gesamte Fläche gleichmäßig verändern, also beispielsweise Blenden, mechanische und LCD-Shutter. Optische Mittel, die in veränderlicher Art und Weise Muster auf die Oberfläche des Objektes projizieren, fallen nicht unter diese Definition.

Es sind Aufnahmeeinheiten bekannt, in denen Blenden oder auch Shutter-Einrichtungen bei Bildwandlern stellbar ausgeführt werden. Stand der Technik ist es, diese Einrichtungen in automatischen Regelkreisen zur Steuerung der Belichtung in der Weise anzusteuern, daß die Belichtung der Einzelaufnahmen optimiert wird. Der Terminus "für die Einzelaufnahmen unterschiedlich gestellt" bedeutet im Sinne

- 5 -

dieser Erfindung, daß die oben genannten Mittel für aufeinanderfolgende Aufnahmen unterschiedlich gestellt werden, um gezielt im Verlauf des Aufnahmeprozesses den Gehalt der Bildinformationen aufeinanderfolgender Einzelaufnahmen zu variieren.

5

In einer besonders vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung wird mindestens eine Strahlquelle für die Einzelaufnahmen in seiner Intensität unterschiedlich gestellt.

10

Es ist erfindungsgemäß vorteilhaft, zusätzlich oder alternativ zur stellbaren Strahlquelle eine stellbare Blende ggf. mit geeigneter Optik in den optischen Strahlengang einzubringen, die hinsichtlich Öffnungszeit und/oder Brennweite für die Einzelaufnahmen unterschiedlich gestellt werden kann. Diese Blende kann gleichermaßen vorteilhaft im optischen Strahlengang zwischen einer Strahlquelle und dem Objekt oder zwischen dem Objekt und dem Bildwandler angeordnet sein.

15

Alternativ kann erfindungsgemäß vorteilhaft anstelle der Blende beispielsweise ein mechanischer Shutter oder eine LCD-Einrichtung angeordnet werden, die für die Einzelbilder unterschiedlich gestellt werden können. Die LCD-Einrichtung kann erfindungsgemäß vorteilhaft flächig durchlässig, teilweise durchlässig oder auch

20

Zum Stand der Technik gehören sogenannte elektronische Shutter-Einrichtungen von CCD-Bildwandlern, mit deren Hilfe die Taktzeit für das Shiften der Ladungen aus den für die Belichtung vorgesehenen Bereichen des CCD-Arrays in optisch abgedeckte Bereiche derart gewählt werden kann, daß die Integrationszeit des Bildwandlers und damit die Helligkeit des aufgenommen Bildes verändert werden kann. Entsprechend ist es erfindungsgemäß vorteilhaft, mittels geeigneter Ansteuerung dieser Einrichtung, die für die Bildwandlung wirksame Menge der Strahlenergie für die Einzelbilder unterschiedlich zu stellen.

25

30

Eine besonders vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung sieht vor, daß die gewonnenen Einzelbildinformationen digitalisiert werden und die digitalisierten Daten einer Einrichtung für die elektronische Datenverarbeitung zur Verfügung gestellt werden.

- 6 -

Einige handelsübliche CCD-Arrays werden beispielsweise mit einer Bildwechselfrequenz von 50Hz betrieben, es werden also fünfzig Aufnahmen pro Sekunde vorgenommen. Es ist Stand der Technik, mittels elektronischer Datenverarbeitung die erhaltenen Bilder zu speichern und zu verarbeiten. Beispielsweise sind sogenannte "Frame-Grabber" preisgünstig als Steckkarten für Arbeitsplatzcomputer erhältlich, die ein Videosignal direkt digitalisieren, in ein geeignetes Datenformat umwandeln und dem Computer als Daten in dessen Hauptspeicher zur Verfügung stellen. Diese Verarbeitung kann in Echtzeit erfolgen.

Wenn nun in erfindungsgemäß vorteilhafter Art und Weise unter Zugrundelegung der vorstehend beschriebenen Aufnahmeeinheit eine Beleuchtungsquelle in wiederholter Folge für eine 1/50stel Sekunde mit geringer Helligkeit und anschließend für eine weitere 1/50stel Sekunde mit hoher Helligkeit synchron zur Bildwechselfrequenz des CCD-Arrays die zu erfassende Oberfläche beleuchtet, erhält man als Ergebnis abwechselnd Bilder mit einer geringen und einer starken Belichtung. Die gering belichteten Bilder werden die Teile der Oberfläche mit hohem Reflexionsgrad zufriedenstellend abbilden, während die Teile der Oberfläche mit geringem Reflexionsgrad nur sehr dunkel und ohne nennenswerten Informationsgehalt abgebildet werden. Umgekehrt werden bei den stark belichteten Bildern die schwach reflektierenden Oberflächenanteile ausreichend hell und mit hohem Informationsgehalt abgebildet, während die stark reflektierenden Oberflächenteile durchgängig extrem hell und damit überstrahlt erscheinen.

Es ist erfindungsgemäß besonders vorteilhaft, die genannten optischen Mittel zur Beeinflussung der für die Bildwandlung wirksamen Menge der Strahlenergie synchron zur Bildwechselfrequenz anzusteuern.

Es ist zusätzlich erfindungsgemäß besonders vorteilhaft, wenn die mindestens zwei einzelnen Bildern zugehörigen Daten teilweise oder vollständig mittels geeigneter Algorithmen in der Einrichtung für die elektronische Datenverarbeitung kombiniert werden.



- 7 -

Beispielsweise ist es erfindungsgemäß vorteilhaft möglich, die digitalisierten Daten zweier aufeinanderfolgender Bilder mittels entsprechender Software dergestalt zu kombinieren, daß aus dem oben beschriebenen niedrig belichteten Einzelbild diejenigen Bildbereiche mit hohem Reflexionsgrad und aus dem oben beschriebenen stark belichteten Einzelbild die Bildbereiche mit niedrigem Reflexionsgrad ausgewählt und in eine gemeinsame Helligkeitsskala transformiert werden. Als Ergebnis erhält man ein Bild, das alle Bildbereiche mit ausreichendem Kontrast darstellt.

Erfindungsgemäß vorteilhaft ist es, eine feinere Abstufung der Beleuchtungsstärke vorzusehen. Dabei können weitere Helligkeitsstufen eingesetzt werden. Das kombinierte Bild wird dann aus den Bildinformationen mehrerer Einzelaufnahmen zusammengesetzt.

Es ist erfindungsgemäß nicht erforderlich, ausschließlich direkt aufeinanderfolgende Bilder auszuwerten oder nur Einzelbilder zu kombinieren, die mit unterschiedlicher Strahlenergie aufgenommen wurden.

Erfindungsgemäß besonders vorteilhaft ist eine automatische Regelung der genannten optischen Mittel zur Beeinflussung der für die Bildwandlung wirksamen Menge der Strahlenergie, abhängig von der Auswertung der tatsächlichen Reflexionsverhältnisse in den vorher aufgenommenen Bildern der jeweiligen Oberfläche. Durch diesen Regelkreis wird erfindungsgemäß sichergestellt, daß für alle Bereiche der zu erfassenden Oberfläche die Beleuchtungsstärke jeweils optimiert wird.

Ebenfalls erfindungsgemäß vorteilhaft ist die Verwendung mehrerer Strahlquellen. Beispielsweise kann dann mittels einer Strahlquelle und geeigneter optischer Mittel ein Muster auf die zu vermessende Oberfläche projiziert werden. Wenn der Projektionswinkel unterschiedlich vom Aufnahmewinkel ist, können in bekannter Weise aus der Abbildung des Musters auf dem Bildwandler 3D-Informationen errechnet werden. Die andere Strahlquelle leuchtet dabei alternierend die zu vermessende Oberfläche vollständig aus. Dann können aus den Einzelbildern sowohl 3D-Informationen als auch Ansichten der erfaßten Oberfläche gewonnen werden. Der erfindungsgemäße Vorteil liegt darin, daß sich eine entsprechende Vorrichtung ohne

mechanische Bewegung der optischen Mittel, bei einfacher Ausbildung des Strahlengangs und unter Verwendung marktüblicher Einzelteile aufbauen läßt.

5 Auf diese Art und Weise können erfindungsgemäß vorteilhaft optische Strahlengänge sowohl für die Beleuchtung bzw. Durchleuchtung des zu erfassenden Objekts als auch für die Abbildung des Objekts auf dem oder den Bildwandlern durch die Ansteuerung der hierfür in dieser Erfindung als geeignet benannten optischen Mittel (beispielsweise stellbare Strahlquellen oder Blenden ggf. mit geeigneten Optiken) wirksam bzw. unwirksam geschaltet werden.

10 Eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung verwendet mindestens zwei Strahlquellen und mindestens zwei Bildwandler, wobei durch geeignete optische Einrichtungen, z. B. durch einen Strahlteiler erreicht wird, daß die jeweilige Bildinformation auf beide Bildwandler projiziert wird. Wenn einer der beiden  
15 Bildwandler nicht für sichtbares Licht, sondern für beispielsweise infrarotes oder ultraviolettes Licht ausgelegt ist und einer der beiden Strahlquellen ebensolches Licht liefert, kann durch alternierendes Ansteuern der einen oder anderen Strahlquelle und durch die entsprechende Auswahl des Bildsignals des korrespondierenden Bildwandlers erreicht werden, daß abwechselnd Bildinformationen aus dem  
20 sichtbaren Lichtbereich und Bildinformationen aus einem nicht sichtbaren Bereich akquiriert werden.

In diesem Zusammenhang ist es erfindungsgemäß vorteilhaft möglich, die Daten des Bildwandlers für sichtbares Licht auf einem Monitor anzuzeigen und die Daten des  
25 Bildwandlers für nicht sichtbares Licht durch Datenverarbeitung so zu bearbeiten, daß sie in aussagekräftiger Form ebenfalls am Monitor dargestellt werden können. Bei Verwendung von infrarotem Licht können die erhaltenen unterschiedlich starken Signale beispielsweise durch unterschiedliche Farben gekennzeichnet werden, so wie dies bei der Auswertung von Infrarotbildern zur Überprüfung der Wärmeabstrahlung von Gebäuden üblich ist. Der Benutzer kann für die Monitordarstellung dann wählen  
30 zwischen dem Farb- bzw. Kontrastbild und der Auswertung der nicht sichtbaren Strahlen.

Eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung verwendet mindestens eine Strahlquelle mit extrem kurzer Leuchtdauer, vorzugsweise im Bereich von 0,001 bis 0,01 s. und großer Helligkeit. Die für die Belichtung des zu erfassenden Objekts abgestrahlte Energiemenge kann in diesem Fall durch die Strahldauer variiert werden.  
5 Zudem wird der Einfluß von Verwackelungseffekten bei unruhiger Handhabung der Aufnahmevorrichtung minimiert. Solche Strahlquellen sind beispielsweise bekannt als Stroboskoplicht, Blitzlampe, Blitzrohr oder Flash-LED und werden beispielsweise (ebenfalls extern getaktet) zum Einstellen des Zündzeitpunktes bei Ottomotoren mit mechanischem Unterbrecherkontakt verwendet.

10 Beim Aufnahmevorgang können "abgeschattete" Bereiche entstehen, wenn die zu erfassende Oberfläche bezüglich des Strahlengangs des projizierten Musters Hinterschneidungen aufweist. Hinterschneidungen in diesem Sinne heißen Ausbildungen der dreidimensionalen Kontur, die bezüglich der Betrachtungs- oder der  
15 Projektionsrichtung durch Teile des Objekts selbst verdeckt sind und insofern für eine Betrachtung oder Projektion nicht zugänglich sind. Für solche Fälle ist es erfindungsgemäß besonders vorteilhaft, mindestens eine weitere Strahlquelle vorzusehen, die alternierend zu den verwendeten anderen Strahlquellen mit Hilfe geeigneter optischer Mittel ein Muster aus einer weiteren Raumrichtung auf die  
20 Oberfläche projiziert. Damit können Informationen über diejenigen vorher abgeschatteten Bereiche der Oberfläche gewonnen werden, die unter dem neuen Projektionswinkel optisch zugänglich sind. Mittels entsprechender Software können die unter den unterschiedlichen Projektionswinkeln erhaltenen 3D-Informationen der zu erfassenden Oberfläche dergestalt kombiniert werden, daß sich die 3D-  
25 Informationen gegenseitig ergänzen.

Sämtliche in dieser Erfindung beschriebenen Ausgestaltungen des Verfahrens und der Vorrichtung können erfindungsgemäß besonders vorteilhaft in vielfältiger Art und Weise miteinander kombiniert werden.

30 Beim Vermessen von schlecht zugänglichen Stellen ist die Baugröße desjenigen Teils der Vorrichtung, der sich im schlecht zugänglichen Bereich befindet, begrenzt. Ein Beispiel hierfür sind Aufnahmen in der Mundhöhle. Es ist aus diesem Grunde nicht ohne weiteres möglich, eine Aufnahme beispielsweise eines kompletten Kiefers

anzufertigen. Bewegt man nun die erfindungsgemäße Aufnahmevorrichtung relativ zur vermessenen Oberfläche, erhält man in Folge unterschiedliche Bilder. Die sich an die Einzelaufnahmen anschließende Datenverarbeitung bietet dann die Möglichkeit, benachbarte Einzelbilder zusammenzufügen, sofern ein ausreichender Überdeckungsgrad der Einzelbilder gewährleistet ist.

Es ist bekannt, daß aus einer relativ zur betrachteten Oberfläche veränderten Position und Ausrichtung der Aufnahmevorrichtung eine mehr oder weniger starke Abweichung der Abbilder für ein und dieselben betrachteten Oberflächensegmente resultiert. Insofern ist es Stand der Technik, numerische Näherungsverfahren zur Kombination und Ergänzung von benachbarten Bildern bzw. Bildfolgen einzusetzen. Geeignete numerische Algorithmen erlauben es, die Verzeichnungsfehler der ebenen Abbildung der realen, meist räumlich ausgebildeten Oberfläche teilweise zu kompensieren. Dem kontinuierlichen Zusammenfügen ebener Bilder räumlicher Objekte sind jedoch Grenzen gesetzt. Die unterschiedlichen Methoden zur ebenen Darstellung der Erdoberfläche geben hier ein anschauliches Beispiel.

Es liegt deshalb in diesem Zusammenhang nahe, daß nicht nur die zweidimensionalen Abbilder zu einem Gesamtbild zusammengefügt werden, sondern ermittelte 3D-Informationen. Entsprechende sogenannte Matching-Algorithmen, die es erlauben, Teilinformationen über dreidimensionale Oberflächen anhand von 3D-Koordinaten übereinstimmender Oberflächensegmente zu einer Gesamtinformation zu kombinieren, sind bekannt.

Die Voraussetzung übereinstimmender Oberflächensegmente ist für den oben beschriebenen beispielhaften Einsatzzweck der Erfindung gegeben. Da die erfindungsgemäße Vorrichtung bei Verwendung eines Bildwandlers mit einer Bildwechselfrequenz von 50Hz alle 0,02 s Einzelaufnahmen anfertigt, kann davon ausgegangen werden, daß selbst dann, wenn die Vorrichtung beispielsweise von Hand für eine Aufnahme des Zahnbogens eines Patienten geführt wird, jedes Bild aus einer ähnlichen Position aufgenommen wird wie die Vorgängeraufnahme und daß damit ein hoher Überdeckungsgrad zwischen zwei aufeinanderfolgenden Aufnahmen gewährleistet ist, sowohl für die 2D-Informationen als auch für die gewonnenen 3D-Informationen. Eine typische Größe des innerhalb einer Aufnahme erfaßten Teils der

- 11 -

5 zu vermessenden Oberfläche liegt bei etwa 10mm x 10mm, so daß sich selbst bei einer hoch angesetzten Bewegungsgeschwindigkeit einer handgeführten Vorrichtung von ca. 30mm/s ein Überdeckungsgrad von mehr als 90% ergibt. Auch wenn davon ausgegangen wird, daß von den weiter oben beschriebenen Möglichkeiten der alternierenden Belichtung und Auswertung Gebrauch gemacht und beispielsweise nur jedes vierte Bild tatsächlich für eine dreidimensionale Berechnung herangezogen wird, resultiert daraus immer noch ein Überdeckungsgrad von über 75%.

10 Bei einer solchen vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung wird durch Bewegen der Vorrichtung entlang der Zahnreihen mit jedem ausgewerteten Bild eine neue Information über die dreidimensionale Gestalt der zu vermessenden Oberfläche an die bereits vorhandene angefügt. Zudem kann durch numerische Kombination der auf die Einzelbilder bezogenen 3D-Daten hinsichtlich des sich jeweils überdeckenden Bereichs die resultierende Information optimiert werden. Sie wird dabei durch  
15 Anwendung statistischer Verfahren genauer oder durch eine Vergrößerung der Anzahl der enthaltenen Stützpunkte dichter. Die Quantität der solcherart zu gewinnenden Informationen ist nicht durch das Verfahren oder die Vorrichtung selbst, sondern lediglich durch die Größe des zur Verfügung stehenden Speichers der Datenverarbeitungseinheit begrenzt.

20 Die Verwendung der oben beschriebenen Strahlquellen für kurze Strahlimpulse ist im vorstehend beschriebenen Zusammenhang erfindungsgemäß besonders vorteilhaft einzusetzen, um die Verwackelungseffekte einer beispielsweise von Hand geführten Aufnahmevorrichtung zu minimieren.

25 Die erfindungsgemäß vorteilhafte Verwendung mindestens einer Strahlquelle, die mittels geeigneter optischer Mittel ein Muster unter einem ausreichenden Triangulationswinkel zur Aufnahmerichtung auf die zu erfassende Oberfläche projiziert und mindestens einer weiteren Strahlquelle, die das Objekt beispielsweise  
30 alternierend farbgetreu beleuchtet, sowie die anschließende Kombination der den Einzelbildern zugehörigen 3D-Informationen mit den den Einzelbildern zugeordneten Farbinformationen erlaubt eine äußerst realitätsnahe Einfärbung einer resultierenden 3D-Gitternetzdarstellung.

Im vorstehenden Zusammenhang ist es erfindungsgemäß besonderes vorteilhaft, diejenige Strahlquelle, die beispielsweise mittels Kondensor, Maske und Optik ein Linienmuster auf die zu erfassende Oberfläche projiziert, mit hoher Strahlintensität zu betreiben, damit für die Gewinnung der 3D-Information das projizierte Muster in allen  
5 Bereichen der Oberfläche hinreichend hell ist. Dabei ergibt sich, daß diejenigen Bereiche der Oberfläche mit einer starken Reflexion unzureichende Kontrast- und/oder Farbinformationen zum Zweck einer anschaulichen Darstellung beinhalten. Die fehlenden Informationen können wie oben beschrieben durch Kombination von Einzelbildinformationen ergänzt werden, die mit reduzierter Bestrahlung  
10 beispielsweise aus derselben Strahlquelle oder vermittels der ebenfalls beschriebenen Strahlquelle für die flächige Bestrahlung der zu erfassenden Oberfläche gewonnen werden.

Es ist im vorstehenden Zusammenhang erfindungsgemäß besonders vorteilhaft, die  
15 Strahlenergie für die Projektion des Musters für die Einzelaufnahmen unterschiedlich zu stellen, um auch bei der Aufnahme des Linienmusters - wie bereits oben für die flächige Bildaufnahme beschrieben - die Bildinformationen des Linienmusters bezogen auf die partiellen Reflexionseigenschaften der Oberfläche des Objekts durch eine Kombination der Einzelaufnahmen insgesamt zu optimieren.

Es ist in diesem Zusammenhang erfindungsgemäß besonders vorteilhaft, einen  
20 Farbbildwandler und für die Projektion des Linienmusters weißes Licht zu verwenden. Variiert man nun beispielsweise unter Verwendung einer Blitzlampe die Strahlenergie wie vorstehend beschrieben, erhält man in der Folge der Einzelbilder sowohl optimale  
25 Farb- und Kontrastinformationen entlang der projizierten Linien als auch optimale Kontrastsignale für die einzelnen Linien zur Berechnung der 3D-Stützpunkte. Bewegt man nun mit geringer Geschwindigkeit die Aufnahmevorrichtung gegenüber dem Objekt, kann durch geeignete Kombination der den Einzelbildern zugeordneten  
30 Informationen sowohl die 3D-Informationen verdichtet als auch ein Farbbild des Objekts ohne Lücken generiert werden. In diesem Sinne kann die vorstehend noch beschriebene einheitlich flächige Beleuchtung des Objekts entfallen.

- 13 -

Die Vorrichtung zur Durchführung von optischen Aufnahmen der eingangs beschriebenen Art löst die Aufgabe gemäß der Erfindung durch die Merkmale, daß

- 5 a) mindestens ein flächiger elektronischer Bildwandler unter Verwendung einer zur Aufnahme von Bildern geeigneten Optik verwendet wird, der sich für die Aufnahme von mindestens zwei aufeinanderfolgenden Bildern eignet und
- 10 b) mindestens ein stellbares optisches Mittel vorgesehen wird, das sich für die Aufnahme der Einzelbilder hinsichtlich der für die Bildwandlung wirksam eingebrachten Menge der Strahlenergie unterschiedlich stellen läßt.

15 Eine erfindungsgemäß besonders vorteilhafte Ausbildung der Vorrichtung sieht Einrichtungen vor, die die Digitalisierung der Ausgangssignale des mindestens einen Bildwandlers bewirken und diese Daten einer Datenverarbeitungsanlage zur Verfügung stellt.

20 Eine erfindungsgemäß besonders vorteilhafte Ausbildung der Vorrichtung sieht Einrichtungen vor, die die Daten von mindestens zwei Einzelbildern speichern können.

Eine erfindungsgemäß besonders vorteilhafte Ausbildung der Vorrichtung sieht Einrichtungen vor, die die Daten von mindestens zwei Einzelbildern verarbeitet und in der Lage ist, diese mittels geeigneter Algorithmen zu kombinieren.

25 Eine erfindungsgemäß besonders vorteilhafte Ausbildung der Vorrichtung sieht optische Mittel im Strahlengang zwischen der mindestens einen Strahlquelle und dem zu erfassenden Objekt vor, die die Projektion eines Musters erlauben.

30 Weitere Vorteile, Merkmale und Anwendungsmöglichkeiten der vorliegenden Erfindung ergeben sich aus der folgenden Beschreibung bevorzugter Ausführungsbeispiele in Verbindung mit der anliegenden Zeichnung.

Es zeigt die anliegende Zeichnung (Fig. 1) die Ansicht einer Vorrichtung zur Durchführung von optischen Aufnahmen nach der Erfindung, teilweise schematisiert.

5 Die Aufnahmevorrichtung gemäß der Fig. 1 ist zur Vereinfachung der Beschreibung ohne bekannte, selbstverständliche Vorrichtungsteile nur schematisch wiedergegeben. Zur Vereinfachung der Beschreibung wurde zudem darauf verzichtet, Ausführungsformen von Vorrichtungsteilen, die zum Stand der Technik gehören, wie bestimmte Ausführungsformen von Verbindungen oder der Fixierung von Teilen, im Detail zu beschreiben.

10 An einem Grundgestell (9) sind alle Mittel (8 und 10 bis 15) starr befestigt. Die Befestigung des Trägers (8) gegenüber dem Grundgestell (9) ist lösbar und in der hier gezeigten Ausführungsform derart ausgebildet, daß sich bei einem erneuten Zusammenbau die vorgesehene geometrische Anordnung dieser Teile zueinander  
15 ohne Justagearbeiten ergibt. Zudem sind der Träger (8) und die mit diesem starr verbundenen optischen Mittel (2 bis 4) in der hier gezeigten Ausführungsform derart ausgebildet, daß sie sich für eine von den übrigen Mitteln (9 bis 20) separate Desinfektion bzw. Sterilisation eignen.

20 Bei dem Objekt (1) handelt es sich um eine Oberfläche mit dreidimensionalen Erstreckungen. Beispielsweise kann es sich um einen Zahn bzw. um eine Reihe von Zähnen des menschlichen Gebisses handeln. In engem Abstand erstreckt sich der Träger (8) mit seinen Aufbauten, und man kann sich leicht vorstellen, daß der in Richtung Objekt (1) weisende Teil des Trägers (8) mit seinen Aufbauten innerhalb der  
25 Mundhöhle untergebracht werden kann. Es ist weiter leicht vorstellbar, daß der aus den Mitteln (2 bis 15) bestehende Teil der Aufnahmevorrichtung von Hand gehalten wird und der Benutzer der Vorrichtung einen intraoralen Aufnahmevorgang von einem Teil des Gebisses eines Patienten, in Fig. 1 gezeigt als Objekt (1), ausführt.

30 In der hier gezeigten Ausführungsform handelt es sich bei dem Träger (8) um einen prismatischen Körper aus optischem Glas der Güte BK 7 mit einem Querschnitt von 15 mm x 15 mm. Die Längsseiten sind parallel geschliffen, poliert und eignen sich in dieser Ausführung als ebene optische Umlenkeinrichtungen unter Ausnutzung der Totalreflexion, in Fig. 1 gezeigt als Spiegel (3 und 4). Der zum Objekt (1) weisende



- 15 -

Teil des Glasprismas, in Fig. 1 gezeigt als Träger (8), ist unter 45° abgeschrägt. Diese Fläche ist ebenfalls geschliffen, poliert und zudem verspiegelt und dient als ebener Spiegel (2) zur Umlenkung der Strahlen in Richtung des Objekts (1).

5 Aus Platzgründen kann es vorteilhaft sein, auf der vom Objekt (1) abweisenden Seite des Trägers (8) ebenfalls Umlenkeinheiten anzuordnen, damit die Mittel (10 bis 15) nicht in einer Ebene angeordnet werden müssen.

10 Spiegel sind im Sinne dieser Erfindung optische Umlenkeinrichtungen unabhängig davon, ob die relevanten Flächen verspiegelt sind oder die Fähigkeit zur Umlenkung optischer Strahlen unter Ausnutzung der Totalreflexion erfolgt.

15 Der als Glasprisma ausgeführte Träger (8) kann erfindungsgemäß vorteilhaft beheizt werden, damit er bei invasiv durchgeführten Aufnahmen nicht beschlägt. Alternativ kann ein Luftstrom derart geführt werden, daß der intraoral eingesetzte und für die Aufnahme relevante Teil des Glaskörpers trocken gehalten wird.

20 In einer anderen vorteilhaften Ausgestaltung der Vorrichtung wird der Träger (8) derart ausgebildet, daß er sich für endoskopische Untersuchungen eignet. Zudem ist es, erfindungsgemäß vorteilhaft, möglich weitere optische Mittel, beispielsweise Linsen, zusätzlich zum bzw. anstelle des Spiegels (2) auf dem Träger (8) anzuordnen.

25 Die Strahlquellen (13 und 14), jeweils versehen mit den optischen Mitteln (10 und 11), dienen zur Beleuchtung des Objekts (1). Die Strahlen werden über die ebenen Spiegel (2 bis 4) umgelenkt. Bei der hier gezeigten Ausführungsform bestehen die optischen Mittel (10) aus einem Kondensor, einer Maske und einem Objektiv. Vermittels der Mittel (13, 10, 4, 2) wird flächig ein Linienmuster auf das Objekt (1) projiziert. Als optisches Mittel (11) findet ein Kondensor Verwendung. Vermittels der Mittel (14, 11 und 2) läßt sich das Objekt flächig beleuchten. Als Strahlquelle (13 und 30 14) kommen Blitzlampen zum Einsatz. Die Strahlquellen (13 und 14) sind mittels elektrischer Verbindungen (20) mit einer Ansteuereinheit (19) verbunden.

Die vom Objekt (1) reflektierten Strahlen werden über die Spiegel (2 und 3) gelenkt und mittels der optischen Mittel (12) auf dem Bildwandler (15) abgebildet. Bei der

- 16 -

nier gezeigten Ausführungsform bestehen die optischen Mittel (12) aus einem Objektiv. Der elektronische Bildwandler (15) ist als CCD-Array ausgebildet und über elektrische Verbindungen (20) mit einer Ansteuereinrichtung (18) und einer Einrichtung zur Digitalisierung des Ausgangssignals des Bildwandlers (16) verbunden. Die digitalisierten Bilddaten werden über die elektrische Verbindung (20) einer Datenverarbeitungseinheit (17) zur Verfügung gestellt. In der hier gezeigten Ausführungsform wird für die Einheit (16) ein sogenannter Frame-Grabber mit eigenem Signalprozessor für die schnelle Verarbeitung der Bilddaten und für die Einheit (17) ein handelsüblicher PC verwendet.

Die elektrischen Verbindungen (20) zwischen den Einrichtungen (18) und (19) sowie zwischen den Einrichtungen (17) und (19) dienen zur Synchronisation der Ansteuerung der Strahlquellen (13 und 14) mit der Bildwechselfrequenz des Bildwandlers (15) bzw. zur Rückführung der Bildinformation in einem Regelkreis zur Optimierung der Ansteuerung der Strahlquellen.

Die Mittel (13, 10 und 4) einerseits und (15, 12 und 3) andererseits sind bezüglich ihrer optischen Achsen (7 und 5) derart ausgerichtet, daß sich zwischen der Projektionsrichtung des Musters und der Richtung der Bildaufnahme ein Triangulationswinkel von 20 Grad ergibt. Die optische Achse (6) für die flächige Beleuchtung liegt in diesem Ausführungsbeispiel in der Winkelhalbierenden der beiden anderen optischen Achsen (5 und 7). Um für die 3D-Berechnung relevante Informationen zu bekommen, ist das projizierte Linienmuster quer zu der von dem Triangulationswinkel aufgespannten Ebene gestreift.

In der hier gezeigten Ausführungsform wird das Objekt (1) synchron zur Bildwechselfrequenz des Bildwandlers (15) alternierend einerseits mit einem Linienmuster und andererseits flächig/einheitlich beleuchtet. Die Bildwechselfrequenz liegt in dem hier gezeigten Ausführungsbeispiel bei 50 Hz.

Für die optische dreidimensionale Erfassung beispielsweise des Zahnbogens eines Menschen führt man den vorderen Teil des Trägers (8) mit seinen Aufbauten in den Mund des Patienten ein, startet den Aufnahmevorgang durch ein in der Fig. 1 nicht gezeigtes, im Rahmen der Datenverarbeitungseinheit (17) verfügbares

Betätigungselement, und führt im Verlauf des Aufnahmevorgangs den Vorrichtungsteil, bestehend aus den Mitteln (2 bis 15) von Hand derart, daß nach und nach alle relevanten Oberflächenbereiche des Objekts (1) sowohl auf dem Bildwandler (15) abgebildet als auch gleichermaßen von der Projektion des Linienmusters erfaßt werden. Man beendet den Aufnahmevorgang durch eine weitere Betätigung des vorstehend genannten Betätigungselements.

In der Folge der aufgenommenen Einzelbildinformationen befinden sich jetzt abwechselnd Abbilder des aufgrund der Oberflächengestalt des Objekts (1) verzeichneten Linienmusters und Abbilder des flächig beleuchteten Objekts (1). Aus der Verzeichnung des Linienmusters lassen sich bei Kenntnis des optischen Strahlengangs und unter Berücksichtigung der geometrischen Ausbildung des projizierten Linienmusters für die entsprechenden Einzelaufnahmen für eine Vielzahl von Stützpunkten 3D-Koordinaten errechnen. Aus der Folge der den Einzelbildern zugeordneten Bildinformationen und 3D-Koordinaten lassen sich im weiteren sowohl die ebenen Bildinformationen als auch die 3D-Koordinaten in der oben beschriebenen Art und Weise kombinieren, so daß im Ergebnis trotz des Sichtfelds der Aufnahmeeinheit in einer Größenordnung von 15 mm x 15 mm sowohl die 3D-Koordinaten als auch ein einheitliches Farbbild des gesamten Zahnbogens vorliegen. Hierbei sind Lücken aufgrund von Hinterschneidungen, störenden optischen Reflexionen oder dunklen Bildbereichen ohne nennenswerten Kontrast nicht mehr vorhanden. Durch eine online-Berechnung und -Anzeige der jeweiligen Zwischenergebnisse kann der Bediener zudem die Führung der Aufnahmevorrichtung von Hand optimieren.

Die für die 3D-Berechnung erforderliche Kenntnis des optischen Strahlengangs und der geometrischen Ausbildung des projizierten Linienmusters erhält man erfindungsgemäß vorteilhaft dadurch, daß man nacheinander in unterschiedlichem Abstand parallel zu der zum Objekt (1) weisenden Fläche des Trägers (8) ein ebenes, in seiner Detailausbildung in der Fig. 1 nicht gezeigtes Objekt (1) positioniert, das quer zum projizierten Linienmuster ebenfalls ein Linienmuster aufweist. Werden nun zwei Bildaufnahmen angefertigt und ist sowohl das Referenz-Objekt (1) eben und das Linienmuster in seiner geometrischen Ausbildung als auch der Abstand zwischen Träger und Referenz-Objekt (8) für beide Aufnahmen bekannt, kann man für eine

5 Vielzahl von Stützpunkten sowohl den Strahlengang als auch die geometrische Ausbildung des projizierten Musters exakt errechnen. Die errechneten Werte berücksichtigen bereits etwaige Verzeichnungen aufgrund der Fertigungstoleranzen der verwendeten Mittel. Die Zwischenwerte können dann im weiteren bei der 3D-Berechnung interpoliert werden.

Die hier gezeigte Ausführungsform zeichnet sich dadurch aus, daß

- 10 a) in der Aufnahmeeinheit keine bewegten Teile Verwendung finden;
- b) der optische Aufbau einfach ausgebildet ist;
- 15 c) durch die Verwendung eines langgestreckten Glaskörpers eine einfache Möglichkeit gewählt wurde, die Strahlen zur Erzeugung eines Musters auf der zu vermessenden Oberfläche gezielt ein- oder mehrfach an den Wänden des Glaskörpers reflektieren zu lassen, so daß sich eine größere Winkeldifferenz relativ zu den Aufnahmestrahlen ergibt, als wenn alle Strahlen geradlinig durch den Träger geführt werden, wobei sich der relative Winkel der Strahlen zueinander ja lediglich als arcus tangens des Verhältnisses vom Abstand zwischen Objekt und Aufnahme- bzw. Beleuchtungseinheiten einerseits und dem Abstand der Optiken untereinander andererseits ergibt. Eine Winkeldifferenz im Bereich zwischen 15° und 45° zwischen den mustererzeugenden Strahlen und den Strahlen für die Aufnahme ist vorteilhaft für die Durchführung der Vermessung. Größere Winkel vergrößern die Gefahr der "Schattenbildung" bei gestuften Oberflächen, kleinere Winkel vermindern die Genauigkeit der Vermessung, da das Auswertungsverfahren auf Triangulationsberechnungen beruht;
- 20
- 25
- 30 d) sich außer für Träger (8), Grundgestell (9), Maske zur Projektion des Musters und Ansteuereinheiten (18 und 19) handelsübliche Hardware-Komponenten verwenden lassen;
- e) sich die Fehler aufgrund der Fertigungstoleranzen der eingesetzten Mittel durch die oben beschriebene "Kalibrierung" der Aufnahmeeinheit kompensieren

- 19 -

lassen und insofern insgesamt geringere Anforderungen an die  
Fertigungstoleranzen der eingesetzten Mittel gestellt werden müssen.

5

10

15

20

25

30

## Bezugszeichenliste

1	Objekt
2, 3, 4	Spiegel
5, 6, 7	optische Achsen
8	Träger (hier ausgeführt als Körper aus optischem Glas)
9	Grundgestell
10, 11, 12	optische Mittel (Linsensystem, Blende etc.)
13, 14	Strahlquelle (hier ausgeführt als Blitzlampe)
15	elektronischer Bildwandler (CCD-Array)
16	Einrichtung zur Digitalisierung analoger Signale (Frame-Grabber)
17	Datenverarbeitungseinheit (PC)
18	Ansteuereinheit für den Bildwandler
19	Ansteuereinheit für die Strahlquellen
20	elektrische Verbindungen

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Durchführung von optischen Aufnahmen zum Zweck der Darstellung, Dokumentation oder Vermessung von Objekten (1) unter Verwendung mindestens eines elektronischen Bildwandlers (15) mit flächigem Sichtfeld, mindestens eines optischen Mittels (12) für die Abbildung des Objektes auf dem Bildwandler (15) und mindestens einer Strahlquelle (13, 14) für die Bestrahlung bzw. Durchstrahlung des Objekts (1), dadurch gekennzeichnet, daß
- a) mindestens zwei Einzelaufnahmen nacheinander erfolgen und
- b) die wirksame Menge der eingebrachten Strahlenergie für die optoelektronische Wandlung der Bilder für die Aufnahme der Einzelbilder unterschiedlich gestellt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Intensität der eingebrachten Strahlenergie für die optoelektronische Wandlung der Bilder für die Aufnahme der Einzelbilder unterschiedlich gestellt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Wirkungsdauer der eingebrachten Strahlenergie für die optoelektronische Wandlung der Bilder für die Aufnahme der Einzelbilder unterschiedlich gestellt wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens eine Strahlquelle (13, 14) bezüglich der von ihr für die Aufnahme eines Einzelbildes abgegebenen Menge an Strahlenergie im Verlauf der Aufnahme der Einzelbilder unterschiedlich gestellt wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß optische Mittel (10, 11) für die Beeinflussung der für die Aufnahme eines Einzelbildes wirksamen Menge an Strahlenergie in mindestens einem Strahlengang (6, 7) zwischen der mindestens einen Strahlquelle (13, 14) und

- 22 -

dem zu erfassenden Objekt (1) im Verlauf der Aufnahme der Einzelbilder unterschiedlich gestellt werden.

- 5
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß optische Mittel (12) für die Beeinflussung der für die Aufnahme eines Einzelbildes wirksamen Menge an Strahlenergie in mindestens einem Strahlengang (5) zwischen dem zu erfassenden Objekt (1) und dem mindestens einen Bildwandler (15) im Verlauf der Aufnahme der Einzelbilder unterschiedlich gestellt werden.
- 10
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß sogenannte Shutter-Einrichtungen des mindestens einen elektronischen Bildwandlers (15) mit Hilfe geeigneter Mittel (18) derart angesteuert werden, daß die Wirkungsdauer der eingebrachten Strahlenergie für die optoelektronische Wandlung der Bilder im Verlauf der Aufnahme der Einzelbilder unterschiedlich gestellt wird.
- 15
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Ausgangssignale des mindestens einen Bildwandlers (15) in einer entsprechenden Einheit (16) digitalisiert werden und die digitalisierten Ausgangssignale einer Datenverarbeitungsanlage (17) zur Verfügung gestellt werden.
- 20
9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß Bilddaten von mindestens zwei Einzelbildern in einer Datenverarbeitungsanlage (17) gespeichert, dargestellt und/oder mittels geeigneter Algorithmen kombiniert werden.
- 25
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die für die optoelektronische Wandlung der Bilder wirksame Menge an Strahlenergie synchron zur Bildwechselfrequenz des Bildwandlers (15) unterschiedlich gestellt wird.
- 30



- 23 -

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, **dadurch gekennzeichnet**, daß die für die optoelektronische Wandlung der Bilder wirksame Menge an Strahlenergie in einer Steuerstrecke unterschiedlich gestellt wird.
- 5 12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, **dadurch gekennzeichnet**, daß die für die optoelektronische Wandlung der Bilder wirksame Menge an Strahlenergie in einem Regelkreis unterschiedlich gestellt wird.
- 10 13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12, **dadurch gekennzeichnet**, daß optische Mittel (10) in mindestens einem Strahlengang zwischen der mindestens einen Strahlquelle (13, 14) und dem zu erfassenden Objekt (1) vorgesehen werden, die die Projektion mindestens eines Musters erlauben.
- 15 14. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13, **dadurch gekennzeichnet**, daß in der Datenverarbeitungseinheit (17) Einrichtungen und/oder Algorithmen zur Bildung einer 3D-Information verwendet werden.
- 20 15. Verwendung der Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 14 für die medizinische Diagnostik oder Therapie.
- 25 16. Vorrichtung für ein Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 14, **dadurch gekennzeichnet**, daß mindestens ein Bildwandler (15) als CCD-Array ausgebildet ist.
- 30 17. Vorrichtung für ein Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 14, **dadurch gekennzeichnet**, daß mindestens eine Strahlquelle (13, 14) als Blitzstrahlkörper ausgebildet ist.
18. Vorrichtung für ein Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 14, **dadurch gekennzeichnet**, daß mindestens ein Grundgestell (9) oder ein Träger (8) mindestens zwei der Mittel (2 bis 4 und 10 bis 15) starr verbindet.

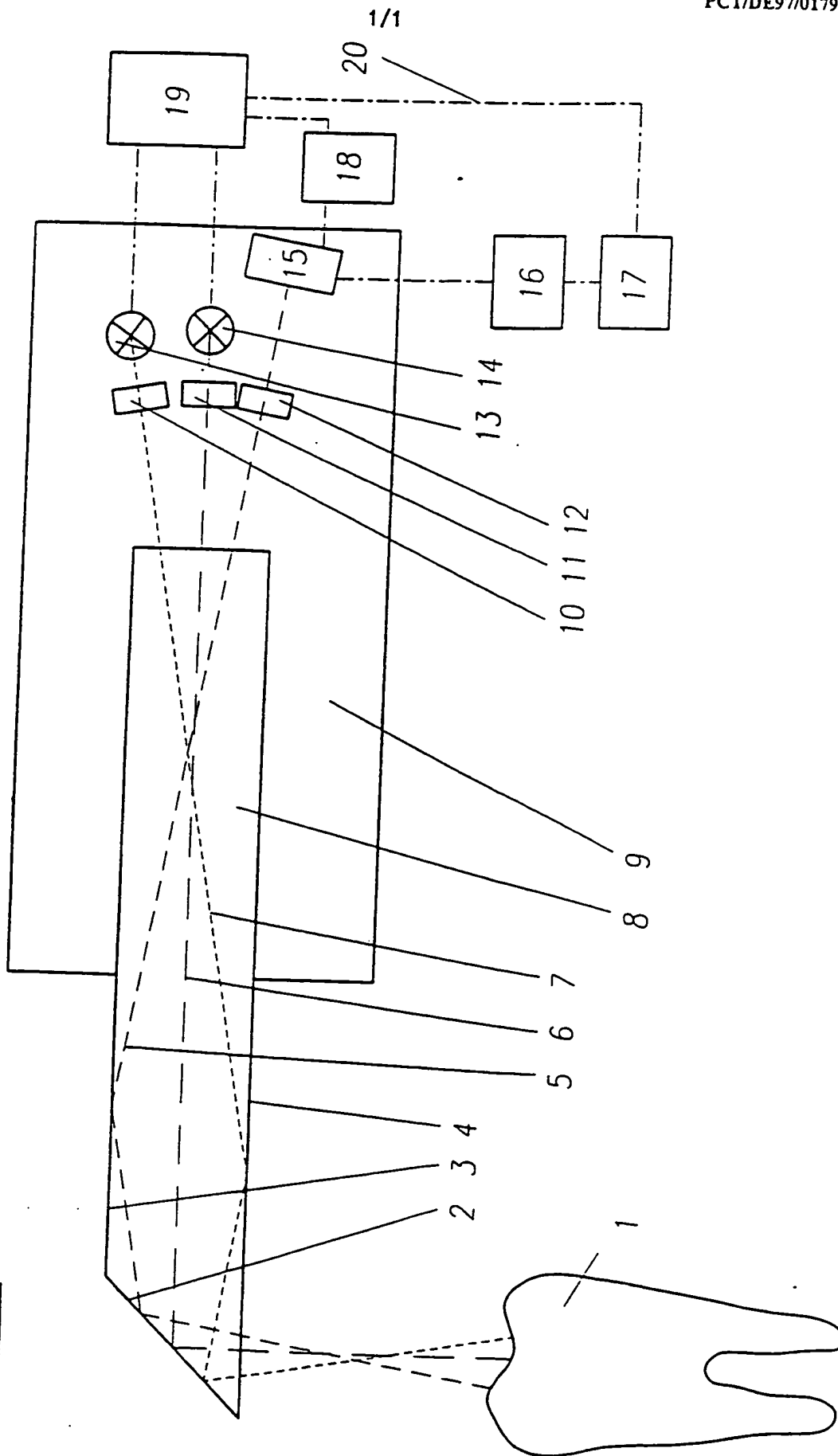
- 24 -

19. Vorrichtung nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, daß an dem Träger (8) mindestens ein Linsensystem (12) zur optischen Abbildung des Objekts (1) auf dem Bildwandler (15) befestigt ist.
- 5 20. Vorrichtung nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, daß an dem Träger (8) mindestens eine optische Umlenkeinrichtung (2, 3, 4) befestigt ist.
- 10 21. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 18 bis 20, dadurch gekennzeichnet, daß der Träger (8) mit seinen Aufbauten gegenüber den anderen Mitteln (9 bis 20) lösbar und im übrigen derart ausgebildet ist, daß er sich für eine separate Sterilisation bzw. Desinfektion eignet.
- 15 22. Verwendung der Vorrichtungen nach einem der Ansprüche 16 bis 21 für invasive medizinische Zwecke.
23. Verwendung der Vorrichtungen nach einem der Ansprüche 16 bis 21 zur berührungslosen Vermessung von wenigstens einem Zahn eines Gebisses des menschlichen und tierischen Körpers für zahnmedizinische Zwecke.
- 20 24. Verwendung der Vorrichtungen nach einem der Ansprüche 16 bis 21 zur berührungslosen Vermessung des Zahnbogens eines Gebisses des menschlichen und tierischen Körpers für kieferorthopädische Zwecke.

25

30

Fig. 1



## Method and device for carrying out optical pick up

The invention relates to a method for carrying out optical pick up, in which at least two single pick ups follow one another consecutively and the amount of beam energy effective for the image conversion is set differently for the single pick ups.  
5 The invention further relates to a device for such a method.

For the purposes of representation, documentation or surveying, the range of methods which work on optical principles, offer a large number of advantages. A  
10 survey can be done rapidly and without contact. Electronic image converters, for example CCD arrays are known from the prior art, the output signals of which can be stored or evaluated directly after being digitised.

Methods and devices for representing and for optical three-dimensional surveying  
15 of spatial surfaces are known. They are based on triangulation methods wherein point, line or any other patterns are projected at a specific angle onto the surface viewed, and the projected patterns are picked up from another viewing angle with an optical system and an image converter. The known geometry between the direction of projection and pick up direction allows the three-dimensional calculation  
20 of interpolation points on the surface.

In the field of dentistry, for example, under the commercial name of CEREC, a system for manufacturing ceramic inlays is known, in which an optical 3D measuring device is used in order to survey a cavity in a tooth.  
25

For orthodontic applications, an intra-oral stereo camera is described in German patent application P 42 18 219. This is used as a part of a medical device, sold under the commercial name of "bending art system". The spatial data which are obtained with the aid of this camera from stereoscopic partial pick ups of the set of  
30 teeth are subsequently combined with one another and assembled to form overall spatial data about the set of teeth.

When optical methods are used for surveying and documentation purposes, problems do arise, however, when the surface to be determined has unfavourable reflection properties. When producing pick ups of teeth, for example, there is sometimes the task of determining both dark, matt amalgam fillings and also strongly reflecting gold fillings to the same extent with a sufficient data content. In addition, the dynamic range of inexpensive CCD arrays is limited.

The object of the invention is therefore to provide the method and the device for carrying out optical pick up of the type described in the introduction, which make possible the determination of a larger amount of image data about the object being viewed, than is available in a single image because of the limits due to the type of construction of the at least one image converter used.

The object is attained according to the invention, with respect to the method, in that

- a) a pick up procedure is carried out using at least one areal electronic image converter, in the course of which at least two single images are obtained, and
- b) the amount of beam energy effective for image conversion is set differently for the single pick ups.

The "amount of beam energy" is understood, within the meaning of this invention, as meaning the integral of the product of the effective duration and intensity of radiation.

Influencing the "amount of beam energy effective for image conversion" is understood, within the meaning of this invention, exclusively as meaning intentional influencing of the amount of beam energy effective for image conversion on the part of the means of the pick up device itself. The fact that in addition the object to be determined itself substantially - and in the course of the pick up procedure,

differently - influences this amount of beam energy effective for image conversion is obvious.

The amount of beam energy effective for the single pick ups can advantageously  
 5 according to the invention be changed in different manners, in that

- a) at least one beam source is set differently with respect to its intensity and/or effective duration for the pick up of the single images;
- 10 b) optical means are set in at least one beam path between a beam source and the object to be determined such that the intensity and/or the effective duration of the beam energy for illuminating and/or transilluminating the object is changed for the pick up of single images;
- 15 c) optical means are set in at least one beam path between the object and the image converter such that the intensity and/or the effective duration of the beam energy reflected or not absorbed by the object is changed for the pick up of single images;
- d) so-called shutter means of the image converter are controlled such that  
 20 the effective time duration of the optoelectronic conversion of the beam energy used for image conversion in the image converters is set differently for the single pick ups.

A beam source, within the meaning of this invention, is any direct generator of  
 25 beam energy. These are, inter alia, means for generating x-rays, visible, infra-red and ultra-violet light.

Optical means in the beam path between the beam source and object, or between the object and image converter which allow the intensity and/or the effective duration  
 30 of the beam energy for illuminating/transilluminating the object or for irradiating the image converter for picking up the single image to be set differently are, within the

meaning of this invention, optical means which change the intensity of the beam energy - except for fringe effects - regularly for the whole area, that is to say, for example aperture means and mechanical and LCD shutters. Optical means which project patterns onto the surface of the object in a changeable manner do not fall  
5 within this definition.

Pick up units are known in which aperture means or shutter means are designed to be adjustable in image converters. It is known from the prior art to control these means in automatic control loops for controlling the lighting in the manner such that  
10 the lighting of the single pick ups is optimised. The term "set differently for the single pick ups" means, within the meaning of this invention, that the means described hereinabove for consecutive pick ups are set differently in order to intentionally vary the content of the image data of consecutive single images during the course of the pick up procedure.

15

In a particularly advantageous configuration of the invention, at least one beam source is set differently with respect to its intensity for the single pick ups.

It is advantageous according to the invention, in addition or alternatively to the adjustable beam source, to bring an adjustable aperture means, optionally with a  
20 suitable optical system, into the optical beam path, which can be set differently with respect to the opening time and/or focal length for the single pick ups. This aperture means can, to an equal measure, advantageously be arranged in the optical beam path between a beam source and the object, or between the object and the  
25 image converter.

Alternatively, according to the invention, instead of the aperture means, for example, a mechanical shutter or an LCD means can be arranged which can be set differently for the single pick ups. Advantageously, according to the invention, the  
30 LCD means can be set to be transparent over its surface area, partially transparent, or opaque.

So-called shutter means of CCD image converters are known from the prior art, with the aid of which the cycle time for shifting the charges from the areas of the CCD array provided for lighting into optically covered areas can be selected such that the integration time of the image converter and thereby the brightness of the image picked up can be changed. Accordingly, it is advantageous according to the invention to differently set the amount of beam energy effective for image conversion by means of a suitable controlling of this means for single images.

A particularly advantageous configuration of the invention provides that the single image data obtained is digitised, and the digitised data are made available to a device for electronic data processing.

Some commercially available CCD arrays are, for example operated at an image refresh rate of 50Hz, that is to say fifty pick ups or recordings per second are made. It is known from the prior art to store and to process the images obtained by means of electronic data processing. For example, so-called "frame grabbers" are obtainable inexpensively as plug-in cards for work-place computers, which directly digitise a video signal, convert it into a suitable data format, and make it available to the computer as data in its main memory. That processing can be done in real time.

When in an advantageous manner according to the invention, taking the pick up unit described hereinabove, a lighting source illuminates the object to be determined in a repeated sequence for 1/50th of a second at low brightness, and subsequently for a further 1/50th of a second with high brightness, synchronously with the image refresh rate of the CCD array, as a result images are obtained alternately with a low and a strong illumination. The low-lit images will image the parts of the surface with a high degree of reflection satisfactorily, while the parts of the surface with a low degree of reflection are imaged only very dimly and without a substantial data content. By contrast, with the strongly lit images, the weakly reflecting surface portions are imaged sufficiently brightly, and with a high data content, while the



strongly reflecting surface parts are generally extremely bright and therefore appear saturated.

It is particularly advantageous according to the invention to control the optical  
5 means described for influencing the amount of beam energy effective for image conversion synchronously with the image refresh rate.

It is additionally particularly advantageous according to the invention when the data  
belonging to at least two single images are partially or completely combined in the  
10 means for electronic data processing by means of suitable algorithms.

For example, it is advantageously possible according to the invention to combine the  
digitised data of two consecutive images by means of appropriate software such that  
the image areas with a high degree of reflection are selected from the low-lit single  
15 image described hereinabove, and the image areas with a low degree of reflection  
are selected from the strongly lit single image described hereinabove, and are  
transformed in a common brightness scale. As a result, an image is obtained which  
represents all image areas with sufficient contrast.

20 It is advantageous according to the invention to provide finer stepping of the  
strength of illumination. In this case, further brightness steps can be used. The  
combined image is then composed from the image data of a plurality of single  
images.

25 According to the invention it is not necessary to evaluate exclusively images which  
follow one another directly, or to combine only single images which have been  
taken using different beam energy.

It is particularly advantageous according to the invention to have automatic control  
30 of the optical means described for influencing the amount of beam energy effective  
for image conversion, dependent upon evaluation of the actual reflection ratios in

the images previously picked up of the respective surface. By means of this control loop, it is ensured according to the invention that the respective illumination strength is optimised for all areas of the object to be determined.

- 5 The use of a plurality of beam sources is also advantageous according to the invention. For example, by means of a beam source and suitable optical means, a pattern can be projected onto the object to be surveyed. When the angle of projection is different from the angle of pick up, in a known manner 3D data can be calculated from the imaging of the pattern on the image converter. The other  
10 beam source then alternately completely illuminates the surface to be surveyed. In this way both 3D information and views of the surface being determined can be obtained from the single images. The advantage according to the invention is in that a corresponding device, without mechanical movement of the optical means, can be designed with a simple configuration in regard to the beam path and using  
15 commercially available components.

In this manner, according to the invention optical beam paths can advantageously be switched to be active and inactive, both for illumination and/or transillumination of the object to be determined and for the imaging of the object on the image  
20 converter or converters by control of the optical means designated as being suitable in this invention (for example, adjustable beam sources or aperture means, optionally with suitable optical systems).

A further advantageous configuration of the invention uses at least two beam sources  
25 and at least two image converters, wherein by means of suitable optical means, for example by means of a beam splitter, the respective image data are projected onto both image converters. When one of the two image converters is not set for visible light, but instead, for example, for infra-red or ultra-violet light, and one of the two beam sources also delivers such light, by alternating control of one or the other  
30 beam source, and by appropriate selection of the image signal of the corresponding image converter, image data from the visible light range and image data from an

invisible range can be acquired alternately.

In this connection it is advantageously possible according to the invention to display the data of the image converter for visible light on a monitor, and to process the data of the image converter for invisible light by data processing such that they can also be represented on the monitor in a meaningful form. When infra-red light is used, the different strengths of signals obtained can be distinguished, for example, by different colours, as is usual when infra-red images are evaluated for testing the heat radiation of buildings. The user can then choose between the colour and contrast image and the evaluation of the invisible beams for representation on the monitor.

A further advantageous configuration of the invention uses at least one beam source with an extremely short duration of illumination, preferably in the range from 0.001 to 0.01 seconds, and high brightness. The amount of energy radiated for lighting the object to be determined can, in this instance, be varied by the duration of the beam. In addition, the influence of shaking effects when the pick up device is handled carelessly, is minimised. Such beam sources are, for example, known in the form of a stroboscopic light, flash lamp, flash tube or flash LED, and are, for example, used (also pulsed externally) for adjusting the ignition timing of four-stroke engines with mechanical contact breakers.

During the pick up procedure, "shaded" areas can occur when the surface to be determined has undercuts with respect to the beam path of the projected pattern. In this sense, undercuts are configurations of formations of the three-dimensional contour which are covered up by parts of the object itself with respect to the direction of view or of projection, and to that extent are not accessible for viewing or projection. For such an instance, it is particularly advantageous according to the invention to provide at least one further beam source which using suitable optical means projects a pattern from a different spatial direction onto the surface, alternately to the other beam sources used. In this way data about the previously

new angle of projection. By means of appropriate software, the 3D data about the surface to be surveyed obtained from the different projection angles can be combined such that the 3D data are mutually supplemented.

- 5 All the configurations of the method and of the device described in this invention can be combined with one another in many ways particularly advantageously according to the invention.

When surveying places which are difficult to access, the constructional size of the  
10 part of the device which is located in the area which is difficult to access is limited. An example of this is for pick up carried out in the oral cavity. For this reason it is not readily possible to make a record of, for example, a complete jaw. If the pick up device according to the invention is now moved relative to the surface being surveyed, different images are obtained as a result. The data processing following  
15 the single pick ups then offers the possibility of combining adjacent single images, provided a sufficient degree of overlap of by the single images is ensured.

It is known that a position and alignment of the pick up device which is changed relative to the surface being viewed results in a more or less strong divergence in  
20 the images of one and the same surface segment viewed. To this extent, it is known from the prior art to use digital approximation methods for combining and supplementing adjacent images and sequences of images. Suitable digital algorithms allow for partial compensation for the distortion errors of the planar imaging of the real, usually spatially configured surface. The continual combination of planar  
25 images of spatial objects is limited, however. The different methods for planar representation of the surface of the earth are a clear example of this.

In this connection, the idea suggests itself that not only the two-dimensional images are combined into a whole image, but also 3D data which are ascertained. Suitable  
30 so-called matching algorithms which allow partial data about three-dimensional surfaces, using 3D coordinates of corresponding surface segments, to be combined

into overall data are known.

The pre-condition of having corresponding surface segments is set down for the purpose of use for the invention described by way of example hereinabove. As the device according to the invention produces single pick ups every 0.02 seconds when  
5 using an image converter with an image refresh rate of 50 Hz, it can be assumed that even when the device is, for example, manually guided for pick up of the tooth set of a patient, each image will be picked up from a similar position to that of the previous pick up, and that a large degree of overlap is thus ensured between two  
10 consecutive pick ups, both for 2D data and for the 3D data obtained. A typical size for the part of the surface to be surveyed which is determined within one pick up, is approximately 10 mm x 10 mm, so even with a setting with a high speed of movement, a manually guided device, at approximately 30 mm per second, produces a degree of overlap of more than 90%. Even when it is assumed that the  
15 possibilities described hereinabove for alternating lighting and evaluation are made use of, and for example only each fourth image is actually taken into account for a three-dimensional calculation, a degree of overlap of more than 75% still results from this.

20 With such an advantageous configuration of the invention, by moving the device along the row of teeth, with each image evaluated, new data about the three dimensional shape of the surface to be surveyed is added to those already available. In addition, by digital combination of the 3D data relating to the single images, with respect to the respective overlap the resulting data can be optimised. The data are  
25 made more accurate by the use of statistical methods, or compressed by increasing the number of interpolation points included. The quantity of the data to be obtained in such a way is not limited by the method or the device itself, but simply by the size of the memory available in the data processing unit.

30 The use of the beam sources described hereinabove for short beam pulses is particularly advantageously used according to the invention in the connection

described hereinabove, in order to minimise shaking effects of a, for example, manually guided pick up device.

5 The advantageous use, according to the invention, of at least one beam source which, by means of suitable optical means, projects a pattern at a sufficient triangulation angle with respect to the pick up direction onto the surface to be determined, and at least one further beam source, which, for example, alternately illuminates the object in true colour, and the following combination of the 3D data belonging to the single images with the colour data assigned to the single images,  
10 allows an extremely realistic colouration of a resulting 3D grid representation.

In the present connection, it is particularly advantageous according to the invention to operate the beam sources which, for example, by means of a condenser, mask  
15 and optical system, project a line pattern on the surface to be determined, with a high beam intensity so that the projected pattern is sufficiently light in all areas of the surface for obtaining the 3D information. However, the areas of the surface with a strong reflection contain insufficient contrast and/or colour data for the purpose of a clear representation. The missing data can be supplemented as  
20 described hereinabove by combination of single image data which are obtained with reduced lighting, for example from the same beam source or by means of the beam source also described for surface lighting of the surface to be determined.

In the present connection, it is particularly advantageous in accordance with the  
25 invention to set the beam energy for the projection of the pattern differently for the single images in order, when the line pattern is picked up - as described hereinabove for surface image pick up - to optimise overall the image data of the line pattern with respect to the partial reflection properties of the surface of the object by combination of the single pick ups.

30

In this connection it is particularly advantageous according to the invention to use

a colour image converter and white light for projection of the line pattern. If the beam energy is now varied as described hereinabove, for example using a flash lamp, the sequence of single images enjoys optimum colour and contrast data along the projected lines as well as optimum contrast signals for the individual lines for calculating the 3D interpolation points. If the pick up device is now moved slowly with respect to the object, by suitable combination of the data assigned to the single images, the 3D data can be compressed and a colour image of the object can be generated without gaps. In this sense, uniform surface illumination of the object as also previously described can be dispensed with.

10

The device for carrying out optical pick up of the type described in the introduction attains the object according to the invention by means of the features wherein

- a) at least one areal electronic image converter employing an optical system suitable for pick up of images is used, which is suitable for picking up at least two consecutive images, and
- b) at least one adjustable optical means is provided, which can be set differently for pick up of the single images with respect to the amount of beam energy effective for image conversion.

20

A configuration of the device which is particularly advantageous according to the invention provides means which effect digitising of the output signals of the at least one image converter and make these data available to a data processing system.

25

A configuration of the device which is particularly advantageous according to the invention provides means which can store the data from at least two single images.

A configuration of the device which is particularly advantageous according to the invention provides means which process the data from at least two single images and is able to combine these by means of suitable algorithms.

30

A configuration of the device which is particularly advantageous according to the invention provides optical means in the beam path between the at least one beam source and the object to be determined, which allow the projection of a pattern.

- 5 Further advantages, features and possible applications of the present invention will be evident from the following description of preferred embodiments with reference to the attached drawing.

The attached drawing (Fig. 1) shows a view of a device for carrying out optical pick  
10 up according to the invention, partially schematically.

The pick up device according to Fig. 1 is, in order to simplify the description, a reproduced only schematically without known, obvious parts of the device. To simplify the description, a detailed description of embodiments of parts of the device  
15 which belong to the prior art, such as specific embodiments of connections or fixing of parts has been dispensed with.

All means (8 and 10 to 15) are rigidly fixed to a base frame (9). The fixing of the carrier (8) with respect to the base frame (9), is releasable and in the embodiment  
20 shown here, is such that when put together again, the intended geometrical arrangement of these parts with respect to one another is produced without adjustment. In addition the carrier (8) and the optical means (2 to 4) rigidly connected to it in the embodiment shown here, are of such a configuration that they are suitable for disinfection and sterilisation separately from the remaining means  
25 (9 to 20).

The object (1) is a surface with three-dimensional extents. For example, it can be a tooth or a row of teeth of a human set of teeth. At a short distance away there extends the carrier (8) together with its components, and it can easily be imagined  
30 that the part of the carrier (8) together with its components, facing towards the object (1), can be accommodated in the oral cavity. It is also easily imaginable that



the part of the pick up device composed of the means (2 and 15) is held manually and the user of the device carries out an intraoral pick up procedure of a part of the set of teeth of a patient, shown as the object (1) in Fig. 1.

5 In the embodiment shown here, the carrier (8) is a prismatic body of optical glass of BK 7 quality with a cross-section of 15 mm x 15 mm. The long sides are parallel ground, polished, and are suitable in this embodiment as planar optical deflecting means making use of total reflection, shown in Fig. 1 as mirrors (3 and 4). The part of the glass prism, shown in Fig. 1 as a carrier (8), facing the object  
10 (1) is inclined at  $45^\circ$ . This surface is also ground, polished and in addition is mirrored and serves as a plane mirror (2) for deflecting the beams in the direction of the object (1).

For reasons of space, it can be advantageous to also arrange deflecting means on the  
15 side of the carrier (8), facing away from the object (1), so that the means (10 to 15) do not have to be arranged in one plane.

Within the meaning of the invention, mirrors are optical deflection means regardless of whether the relevant surfaces are mirrored or the capacity for deflecting optical  
20 beams takes place by making use of total reflection.

The carrier (8) which is in the form of as a glass prism (8) can, according to the invention, advantageously be heated so that it does not fog when invasive pick ups are carried out. Alternatively, an air stream can be conducted such that the part of  
25 the glass body used intra-orally and which is relevant for the pick up is kept dry.

In another advantageous embodiment of the device, the carrier (8) is of such a form that it is suitable for endoscopic examinations. In addition it is advantageous  
30 according to the invention possibly to arrange further optical means on the carrier (8), for example lenses, in addition to, or instead of, the mirror (2).

The beam sources (13 and 14) respectively provided with the optical means (10 and 11) serve to light the object (1). The beams are deflected by means of the planar mirrors (2 to 4). In the embodiment shown here, the optical means (10) are composed of a condenser, a mask and an objective. By means of the means (13, 10, 4, 2) a line pattern is projected over its area onto the object (1). A condenser is used as the optical means (11). By means of the means (14, 11 and 2, the object can be illuminated over its area. Flash lamps are used as beam sources (13 and 14). The beam sources (13 and 14) are connected to a control unit (19) by means of electrical connections (20).

10

The beams reflected from the object (1) are deflected by the mirrors (2 and 3) and imaged by means of the optical means (12) onto the image converter (15). In the embodiment shown here, the optical means (12) are composed of an objective. The electronic image converter (15) is in the form of a CCD array, and is connected via electrical connections (20) to a control means (18) and a means for digitising the output signal of the image converter (16). The digitised image data are made available to a data processing unit (17) via the electrical connection (20). In the embodiment shown here, a so-called frame-grabber with its own signal processor for rapid processing of the image data is used for the unit (16), and a commercially available PC is used for the unit (17).

20

The electrical connections (20) between the means (18) and (19) and between the means (17) and (19) serve to synchronise the control of the beam sources (13 and 14) with the image refresh rate of the image converter (15) and for returning the image data in a control loop for optimising the controlling of the beam sources.

25

The means (13, 10 and 4) on the one hand and (15, 12 and 3) on the other hand are aligned with respect to their optical axes (7 and 5) such that between the direction of projection of the pattern and the direction of image pick up, a triangulation angle of 20 degrees is produced. The optical axis (6) for the surface illumination is, in this embodiment, in the bisecting line of the angle of the other two optical axes (5 and 7). In order to obtain data relevant to the 3D calculation, the projected line

30

pattern is played transversely to the plane fixed by the triangulation angle.

In the embodiment shown here, the object (1) is illuminated synchronously to the image refresh rate of the image converter (15) alternately on the one hand with a line pattern, and on the other hand over its surface/uniformly. In the embodiment  
5 shown here, the image refresh rate is at 50 Hz.

For optical, three-dimensional determination of, for example, the tooth set of a human, the front part of the carrier (8) together with its components is guided into the mouth of the patient, a pick up procedure is started by means of an actuating  
10 element available within the scope of the data processing unit (17), not shown in Fig. 1, and in the course of the pick up procedure the part of the device composed of the means (2 to 15) is guided manually such that gradually all the relevant surface areas of the object (1) are both imaged on the image converter (15) and to an equal extent involved in by the projection of the line pattern. The pick up procedure is  
15 terminated by means of a further actuation of the actuating element described hereinabove.

In the sequence of the single image data picked up, there are now alternately images of the line pattern deformed because of the surface shape of the object (1) and  
20 images of the areally illuminated object (1). From the deformation of the line pattern, when the optical beam path is known, and taking into account the geometrical configuration of the projected line pattern for the corresponding single image pick ups, 3D coordinates can be calculated for a large number of interpolation points. From the sequence of the image data and 3D coordinates assigned to the  
25 single images, both the planar image data and the 3D coordinates can then be combined in the manner described hereinabove, so as a result, despite the viewing field of the pick up unit being of an order of size of 15 mm x 15 mm, there are both the 3D coordinates and a homogenous colour image of the whole tooth set. In this respect gaps caused by undercuts, confusing optical reflections or dark image  
30 areas without any substantial contrast are no longer present. By means of an on-line calculation and display of the respective intermediate results, the user can also

optimise the manual guidance of the pick up device.

The knowledge of the optical beam path and of the geometrical configuration of the projected line pattern, necessary for 3D calculation, is obtained advantageously according to the invention in that a planar object (1), the detailed configuration of which is not shown in Fig. 1, and which also has a line pattern, in transverse relationship to the projected line pattern, is placed in succession at different distances parallel to the surface of the carrier (8) facing the object (1). If two image pick ups are now made, and if the reference object (1) is planar and the geometrical configuration of the line pattern and the distance between the carrier and reference object (1) are known for both pick ups, both the beam path and the geometrical configuration of the projected pattern can be calculated exactly for a large number of interpolation points. The values calculated already take into account any deformations caused by manufacturing tolerances of the means used. The intermediate values can then be further interpolated in the 3D calculation.

The embodiment shown here is distinguished in that,

- a) no moving parts are used in the pick up unit;
- b) the optical design is of a simple configuration;
- c) by using an elongate glass body, a simple possibility has been selected for causing the beams to intentionally reflect, once or more times, off the walls of the glass body to produce a pattern on the surface to be surveyed, so that a larger angular difference is produced relative to the pick up beams than if all the beams were guided in a straight line by means of the carrier, wherein the relative angle of the beams to one another is simply produced as the arcus tangens of the ratio of the distance between the object and the pick up and lighting units on the one hand, and the distance of the optical systems from one another on the

other hand. An angular difference in the range between  $15^\circ$  and  $45^\circ$  between the pattern-generating beams and the beams for pick up is advantageous for carrying out the survey. Larger angles increase the risk of "shadow forming" in the case of stepped surfaces, smaller angles  
5 reduce the accuracy of the survey, as the evaluation method is based on triangulation calculations;

d) except for the carrier (8), base frame (9), mask for projecting the pattern and control units (18 and 19) commercially available hardware  
10 components can be used;

e) the errors caused by manufacturing tolerances of the means used can be compensated for by means of the "calibration" of the pick up unit described hereinabove and in that respect only low demands overall have  
15 to be placed on the manufacturing tolerances of the means used.

## List of designations

	1	object
5	2,3,4	mirror
	5,6,7	optical axes
	8	carrier (here in the form of a body of optical glass)
	9	base frame
	10,11,12	optical means (lens system, aperture means, and so forth)
10	13,14	beam source (here in the form of a flash lamp)
	15	electronic image converter (CCD array)
	16	means for digitising analog signals (frame grabber)
	17	data processing unit (PC)
	18	control unit for the image converter
15	19	control unit for the beam sources
	20	electrical connections

## Claims

1. Method for carrying out optical pick up for the purpose of representation, documentation or surveying of objects (1) using at least one electronic image converter (15) with an areal viewing field, at least one optical means (12) for imaging the object on the image converter (15) and at least one beam source (13, 14) for illuminating or transilluminating the object (1), characterised in that
  - a) at least two single images follow one another consecutively, and
  - b) the effective amount of beam energy applied for the optoelectronic conversion of the images is set differently for picking up the single images.
2. Method according to claim 1, characterised in that the intensity of the beam energy applied for the optoelectronic conversion of the images is set differently for picking up the single images.
3. Method according to claim 1 or 2, characterised in that the duration of action of the beam energy applied for the optoelectronic conversion of the images is set differently for picking up the single images.
4. Method according to one of claims 1 to 3, characterised in that at least one beam source (13, 14) is set differently with respect to the amount of beam energy it emits for picking up a single image during picking up of the single images.
5. Method according to one of claims 1 to 4, characterised in that optical means (10, 11) for influencing the effective amount of beam energy for picking up of a single image in at least one beam path (6, 7) between the at least one beam source (13, 14) and the object (1) to be determined are

set differently during picking up of the single images.

6. Method according to one of claims 1 to 5, characterised in that optical means (12) for influencing the effective amount of beam energy for picking up a single image in at least one beam path (5) between the object (1) to be determined and the at least one image converter (15) is set differently during picking up of the single images.
7. Method according to one of claims 1 to 6, characterised in that the so-called shutter means of the at least one electronic image converter (15) are controlled, with the aid of suitable means (18), such that the duration of action of the beam energy applied for the optoelectronic conversion of the images is set differently during picking up of the single images.
8. Method according to one of claims 1 to 7, characterised in that the output signals of the at least one image converter (15) are digitised in a suitable unit (16), and the digitised output signals are made available to a data processing system (17).
9. Method according to claim 8, characterised in that image data from at least two single images are stored, represented and/or combined by means of suitable algorithms, in a data processing system (17).
10. Method according to one of claims 1 to 9, characterised in that the amount of beam energy effective for optoelectronic conversion of the images is set differently, synchronously with the image refresh rate of the image converter (15).
11. Method according to one of claims 1 to 10, characterised in that the amount of beam energy effective for optoelectronic conversion of the images is set differently in a control section.



12. Method according to one of claims 1 to 11, characterised in that the amount of beam energy effective for optoelectronic conversion of the images is set differently in a control loop.
- 5 13. Method according to one of claims 1 to 12, characterised in that optical means (10) are provided in at least one beam path between the at least one beam source (13, 14) and the object (1) to be determined, which allow the projection of at least one pattern.
- 10 14. Method according to one of claims 1 to 13, characterised in that means and/or algorithms for forming 3D data are used in the data processing unit (17).
- 15 15. Use of the method according to one of claims 1 to 14, for medical diagnostics or therapy.
16. Device for a method according to one of claims 1 to 14, characterised in that at least one image converter (15) is in the form of a CCD array.
- 20 17. Device for a method according to one of claims 1 to 14, characterised in that at least one beam source (13, 14) is in the form of a flash body.
18. Device for a method according to one of claims 1 to 14, characterised in that at least one base frame (9) or a carrier (8) rigidly connects at least  
25 two of the means (2 to 4 and 10 to 15).
19. Device according to claim 18, characterised in that at least one lens system (12) for optical imaging of the object (1) on the image converter (15) is fixed to the carrier (8).
- 30 20. Device according to claim 18, characterised in that at least one optical

deflector means (2, 3, 4) is fixed to the carrier (8).

21. Device according to one of claims 18 to 20, characterised in that the carrier (8) together with its components is releasable with respect to the other means (9 to 20) and is moreover of such a configuration that it is suitable for separate sterilisation and disinfection.
22. Use of the devices according to one of claims 16 to 21 for invasive medical purposes.
23. Use of the devices according to one of claims 16 to 21 for non-contact surveying of at least one tooth of a set of teeth of the human or animal body, for dentistry purposes.
24. Use of the devices according to one of claims 16 to 21 for non-contact surveying of the tooth set of a set of teeth of the human or animal body, for orthodontic purposes.